

УДК.551.248(571.56)

## ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ РАЗЛОМНО-БЛОКОВЫХ СТРУКТУР ВОСТОЧНОГО СЕГМЕНТА БАЙКАЛО-СТАНОВОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПОЯСА

© 2009 г. Л. П. Имаева<sup>1</sup>, В. С. Имаев<sup>1</sup>, Б. М. Козьмин<sup>2</sup>, К. Маккей<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ИЗК СО РАН, г. Иркутск

<sup>2</sup>ИГАБМ СО РАН, г. Якутск

<sup>3</sup>Университет штата Мичиган, г. Лансинг, США

Поступила в редакцию 20.06.2009 г.

Совместный анализ геолого-геофизических характеристик активных разломов, морфотектонических особенностей рельефа, данных спутниковых измерений и сейсмичности территории юго-востока Алдано-Станового блока (восточный фланг Олекмо-Становой сейсмотектонической зоны), позволил определить кинематический план развития современных разломно-блоковых структур и выделить сопряженные системы главных сейсмогенерирующих разломов, находящихся в зоне динамического влияния контакта трех крупных литосферных плит: Евразийской, Амурской и Охотоморской.

PACS: 91.30.Vc; 91.55.Ln

### ВВЕДЕНИЕ

Территория восточной окраины Алданского щита, в области его сочленения со Становой складчатой областью (или Алдано-Становой блок), является наименее изученной с позиций сейсмотектонического анализа и до настоящего времени не рассматривалась в структурно-кинематических моделях современного тектонического процесса. Сейсмическая активность этого региона связывается с активизированными структурами буферной зоны, трактуемой как диффузная граница между Амурской и Евразийской плитами, которая включает Олекмо-Становую и Тукурингро-Джагдинскую сейсмотектонические зоны [Имаев, 2003; Мирошниченко, 2008; Имаев и др., 2000]. Для понимания общей геодинамической позиции территории и выделения главных сейсмогенерирующих структур нами проведен морфотектонический анализ наиболее ярко выраженной транспрессионной структуры (блок Токинского Становика), расположенной между праводвиговыми разломами северо-западного простирания: Тыркандинским и, возможным продолжением в область Становой складчатой системы Итун-Иланским разломом, являющимся западной ветвью системы разломов Тан-Лу.

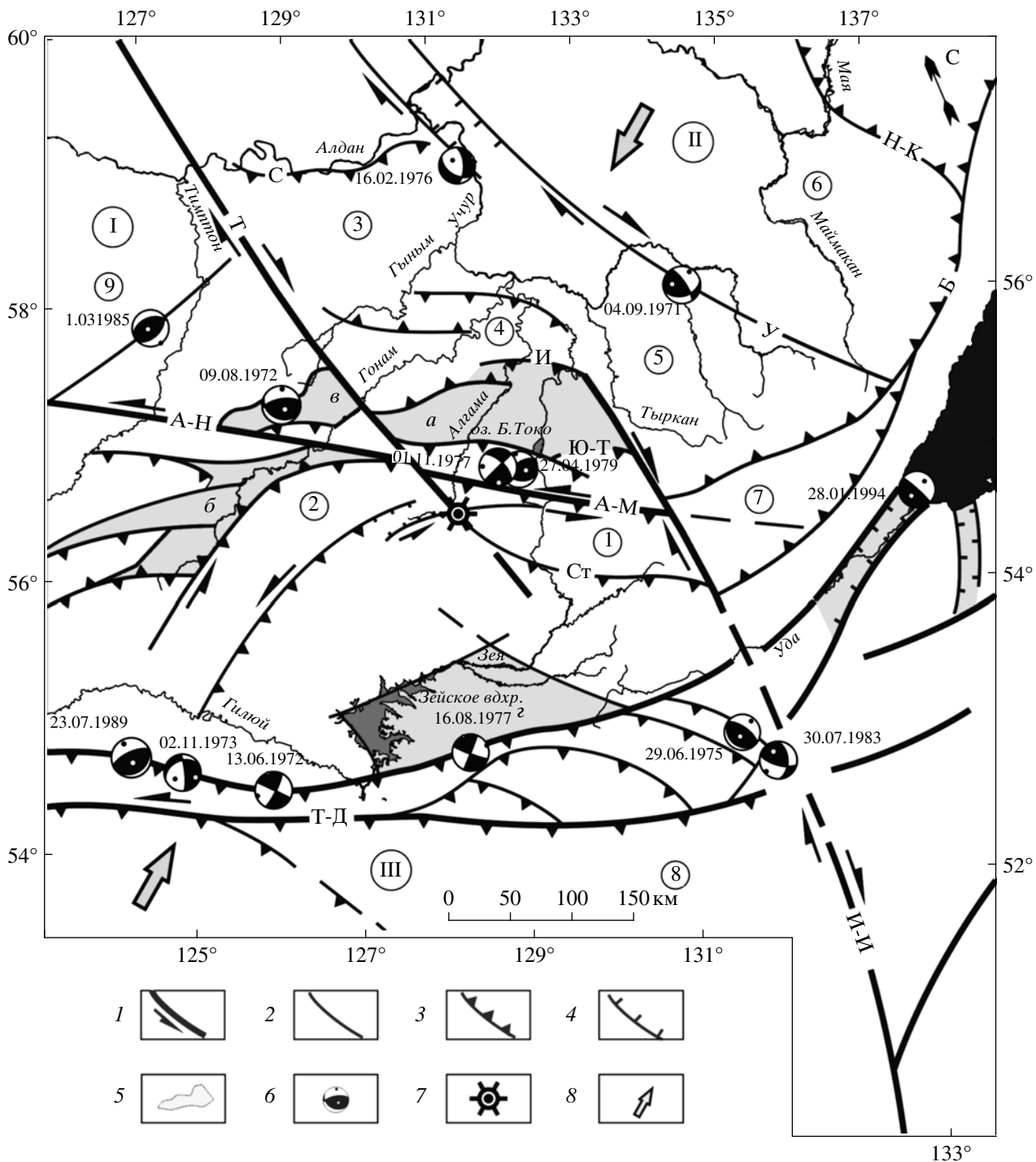
### ГЕОСТРУКТУРЫ И ЭЛЕМЕНТЫ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ

В соответствии с определенными структурно-вещественными комплексами на территории исследований выделяются три крупных тектонических блока (рис. 1): Центрально-Алданский и Восточно-Алданский террейны, включающие активизированные

структуры Алданского щита и соответствующие сегменты Становой складчатой области, а также Тукурингро-Джагдинский сектор восточной ветви Монголо-Охотской складчатой системы [Разломная..., 1976; Мокшанцев и др., 1975; Тектоника..., 2001].

Элементы глубинного строения земной коры данной территории практически полностью отражают механизм образования местных новейших структур региона. На схемах мощностей земной коры выделяется ряд крупных блоков и их структурные ограничения [Мокшанцев и др., 1975]. Становая зона (Становик-Джугджурский блок) имеет мощность земной коры 38–40 км, считается что нижняя и верхняя границы земной коры являются как бы зеркальным отражением друг друга. Граница Мохоровичича в областях морфологически выраженных поднятий, как правило, имеет тенденцию к погружению, а в областях развития отрицательных структур – к подъему. Так, в зоне умеренных неотектонических поднятий морфоструктуры залегание границы Мохоровичича фиксируется на глубине 38–40 км, а в зоне интенсивных сводово-блоковых движений (Токинский Становик) происходит ее погружение до значений 40–42 км. По данным, полученным по наблюдениям за временами пробега сейсмических волн близких землетрясений, мощность земной коры на юго-востоке Алданского щита может достигать 45–60 км [Суворов, 1985].

Картина распределения усредненных значений поля силы тяжести в редакции Буге характеризуется линейностью. При этом выдерживается в основном субширотное и северо-западное простирание минимумов, разделенных максимумами. Их простран-



**Рис. 1.** Схема разломно-блоковых структур восточного фланга Олекмо-Становой сейсмоструктурной зоны:

1 – главные сейсмогенерирующие структуры сдвиговой кинематики; 2 – разломы неизвестной кинематики; 3 – надвиги (Ю-Т – Южно-Токинский, И – Идюмский, С – Суннагинский); 4 – сбросы; 5 – мезозойско-кайнозойские впадины (а – Токинская, б – Атугей-Нуямская и Гонамские, в – Ытымджинская, г – Верхнезейская и Удская); 6 – круговые диаграммы фокальных механизмов землетрясений (черная точка внутри диаграммы – положение оси сжатия, белая – ось растяжения), рядом проставлена дата возникновения землетрясения; 7 – кайнозойское поле базальтов; 8 – направления действия регионального поля тектонических напряжений. Римскими цифрами обозначены крупные геоблоки: I – Центрально-Алданский, II – Восточно-Алданский, III – Тукурингра-Джагдинский. Арабскими цифрами в кружках помечены новейшие блоки (структуры): 1 – Токинский Становик, 2 – Сутамский, 3 – Гонамский, 4 – Учуро-Идюмский, 5 – Тьркинский, 6 – Батомгский, 7 – Джугджурский, 8 – Баджалский, 9 – Тимптонский. Буквенные обозначения: главные разломы (А-Н – Атугей-Нуямский, А-М – Авгенкуро-Майский, Т-Тыркинский, У – Улканский, И-И – Итун-Иланский) и краевые швы (Б – Беликчанский, Н-К – Нелькано-Кыллахский, Ст – Становой, Т-Д – Тукурингра-Джагдинский).

ственное расположение совпадает с системами разломов и выраженными в рельефе неотектоническими структурами.

Тектонические ограничения морфоструктур находят свое отчетливое отображение в виде резких гравитационных градиентных ступеней. Оси аномалий располагаются примерно параллельно разломам, трассируемых вдоль бортов впадин, но смещены к югу на расстояние от нескольких до 10–15 км, что также свидетельствует о надвиговой природе этих разрывных нарушений.

Севернее охарактеризованной полосы минимум силы тяжести в субширотном направлении протягивается цепочка максимумов линейной и изометричной форм, большинству которых соответствуют неотектонические поднятия, сложенные архейскими кристаллическими породами. Интенсивность фиксируемых положительных аномалий не обнаруживает зависимости от абсолютных отметок рельефа: устанавливаемая связь аномалий силы тяжести юга этой части Алданского щита и смежных районов Становой области с мезозойской и кайнозойской структурами свидетельствует о том, что мезозойская и кайнозойская активизации привели здесь к существенной переработке земной коры, в том числе и глубинной ее структуры.

Свидетельством современной активности исследуемой территории служит также значительная величина теплового потока. В районе Токинского Становика (оз. Большое Токко) его значение составляет до 80 мВт/м<sup>2</sup> [Имаев и др., 2000]. Косвенным подтверждением высокого теплового потока может являться также широкое развитие здесь наледей. Сведения о тепловом потоке отражают длительную однонаправленную тектоническую активность, на фоне которой и проявляется одна из составляющих тектономагматических процессов – сейсмичность.

### СЕЙСМИЧНОСТЬ

Основное скопление эпицентров землетрясений отмечается в центральной части Токинского Становика. Ежегодно в районе Токинского Становика записывается в среднем 40–50 сейсмических событий. За весь период инструментальных работ в этом районе отмечено около 600 землетрясений. Два из них – Токинское (1937 г.) с  $M = 5.5$  и Джугдырское (1939 г.) с  $M = 6.0$  могли ощущаться в эпицентре с силой 7–9 баллов. Здесь также выявлено около 30 толчков с возможными макроэффектами в эпицентре до 6 баллов. Магнитуда таких сотрясений соответствовала 4.0–4.5.

Все землетрясения также группируются в две самостоятельные сейсмические полосы: северная – пересекает среднее и нижнее течение р. Гонам и соединяет Тимптонский максимум сейсмичности с “облаком” землетрясений хр. Лурикан (среднее течение р. Учур). Вторая Южная – протягивается вдоль

Ытымджинской и Атугей-Нуямской впадин к блоку Токинского Становика. Северная и Южная эпицентральные сейсмические полосы как бы обтекают Токинскую впадину, отчетливо отбивая ее структурные границы. Среди разломов наиболее сейсмоактивны Тыркандинский, Атугей-Нуямский, Авгенкуро-Майский сдвиги, а также Южно-Токинский и Идюмский надвиги, как и южные борта Ытымджинской и Атугей-Нуямской впадин, представлены надвигами. Фокальные механизмы землетрясений позволили достаточно надежно оценить кинематику активных разломов, к которым тяготеют их эпицентры (рис. 1). Так, для землетрясения 1971 г. в хребте Лурикан (среднее течение р. Учур) характерны подвижки типа сдвига по плоскости разрыва I и сдвига-взброса по плоскости II. Смещения в очаге Усмунского землетрясения 1972 г. соответствуют взбросу и надвигу, что подтверждает развитие надвигов на южном борту Ытымджинской впадины, где зафиксирован эпицентр этого подземного толчка. Перемещения в очагах землетрясений Токинского Становика 1.11.1977 г. и 24.04.1979 г. оказались похожими. С северо-западным простиранием плоскости сместителя Южно-Токинского разлома хорошо согласуется азимут простирания плоскости разрыва II, наклоненной к горизонту под углом 41°–62° на юго-юго-запад. Плоскость разрыва I близвертикальна и ориентирована перпендикулярно к трассе названного разлома. Напряжения сжатия субдолготны и горизонтальны, а растяжения близширотны и составляют с горизонтом углы 20°–61°. Промежуточные усилия действуют в северо-западном направлении и наклонены к поверхности под углом 27°–62°. Подвижки в очагах этих землетрясений могут соответствовать надвигам, что совпадает с типом подвижек по Южно-Токинскому разлому в мезозойское время.

В целом, сейсмический процесс на территории юго-востока Алдано-Станового блока проявляется в условиях сжатия, действующего ортогонально к местным структурным элементам и существенно зависит от кинематических особенностей взаимодействия плит и блоков, сформировавшихся на северо-востоке Азиатского континента.

### РАЗЛОМНЫЕ СТРУКТУРЫ

В пределах юго-восточной части Алдано-Станового блока наиболее крупными (главными) разрывными структурами являются: Становой шов, Авгенкуро-Майский, Южно-Токинский, Атугей-Нуямский, Тыркандинский и Идюмский дизъюнктивы (рис. 1). На активность этих разломов в современное время указывают: приуроченность к ним очагов сильных землетрясений, перестройка гидросети, присутствие четвертичных базальтов, а также ряд геоморфологических признаков (смещение террасовых уровней, наличие сейсмогравитационных обвалов).



**Рис. 2** Внешний вид сейсмогенного скарпа Туксанинского разлома (Авгенкуро-Майская сдвиговая система).

Тыркандинский глубинный разлом праводвиговой кинематики пересекает структуры Алданского щита с северо-запада на юго-восток и прослеживается на расстоянии 600 км от устья р. Тимптон до среднего течения р. Алгамы, где он образует разломный узел совместно с Южно-Токинским и Атугей-Нуямским и Авгенкуро-Майским дизъюнктивами. Зона влияния Тыркандинского разлома представляет собой систему кулисообразно расположенных дизъюнктивов, которые контролируют местоположение нижнепротерозойских трогов и мезозойских грабенов, а также гранитоидов и основных интрузий архейского, протерозойского и мезозойского возрастов [Разломная..., 1976; Мокшанцев и др., 1975; Тектоника..., 2001]. Разлом хорошо трассируется цепочками линейных магнитных аномалий, а в поле силы тяжести распознается по резкой градиентной ступени [Суворов, 1985]. В плане юго-восточный фланг Тыркандинской шовной зоны и северо-западное окончание Итун-Иланского разлома праводвиговой системы Тан-Лу образуют сопряженную динамопару, которая оконтуривает закономерно расположенными к югу и северу надвигами крупный морфотектонический блок транспрессионного типа, включающий структуры Токинского Становика и Токинской впадины.

## МОРФОТЕКТОНИКА

*Токинский Становик* высоко поднятый (2100–2300 м абсолютной высоты), интенсивно развивающийся неотектонический блок, сложенный преимущественно архейскими породами. С севера он оконтурен четко выраженной в рельефе линией Южно-Токинского надвига с амплитудой вертикальных тектонических движений 1000–1200 м. Центральная часть блока раздроблена серией разломов преимущественно субширотного и северо-западного простираний, наиболее значительный из них – Авгенкуро-Майский сдвиг (рис. 2), на западном фланге зоны его динамического влияния закартировано поле позднекайнозойских базальтов [Николаев и др., 1982]. Морфологически хорошо выражен и ряд более мелких разломов, к которым на местности приурочены цепочки узких глубоких седловин, небольшие линейные понижения и уступы на склонах, а также спрямленные участки и коленообразные изгибы долин водотоков [Имаева, 1980].

Интенсивные дифференцированные восходящие движения Токинского Становика обусловили резкую расчлененность его рельефа (относительные превышения до 1200–1300 м) и крутизну склонов. Вследствие этого здесь преимущественно развиты гравитационные процессы, повсеместно распространены мощные грубообломочные делювиаль-

ные и делювиально-пролювиальные шлейфы и конуса выноса, часты проявления обвалов. Некоторые из них имеют сейсмогенный характер (верховья р. Сам-Анкит и долина р. Б. Туксани). Заложение долин большинства крупных рек (Авгенкур-Макит, Бол. и Мал. Туксани, Бол. Околон, верховья Зеи, Лучи и др.) было предопределено тектоникой. Они приурочены к главным линиям активизированных разломов. Образование русел более мелких рек обусловлено разломами небольшой протяженности и тектонической трещиноватостью.

Линией Авгенкуро-Майского разлома с амплитудой вертикального перемещения равной 500–700 м Токинская морфоструктурная область делится на два района – Северный и Южный. Северный район Токинской морфоструктурной области представляет собой высокогорный массив (абсолютная высота до 2300 м) с альпинотипным рельефом, выработанным в эпоху последнего (верхнечетвертичного) оледенения. Район с юга и севера оконтурен линиями крупных разрывных нарушений (Авгенкуро-Майский и Южно-Токинский разломы). В нем отмечена высокая сейсмическая активность (наличие эпицентров землетрясений с  $K = 8–16$ ) и выявлены сейсмогравитационные обвалы.

Южный район Токинской морфоструктурной области имеет низко-среднегорный слабо расчлененный рельеф со средними абсолютными высотами 1500–1700 м. Уровень сейсмичности здесь меньше, чем в Северном районе. Магнитуда отмеченных здесь землетрясений находится в интервале 2.5–5.0. Эпицентры слабых подземных толчков равномерно заполняют всю территорию района с небольшой их концентрацией вблизи его северной границы.

Токинская впадина – мезокайнозойский прогиб, ограниченный линиями крупных дизъюнктивных нарушений большой амплитуды, выраженными в рельефе тектоническими уступами. Южная граница соответствует зоне Южно-Токинского надвига (амплитуда вертикальных тектонических движений до 1200 м), северная – проходит по Идюмскому взбросу (амплитуда 300–400 м). Рельеф впадины сформирован на песчано-сланцевых отложениях юры и нижнего мела, залегающих со слабым ( $3^{\circ}–5^{\circ}$ ) наклоном к центру, что обусловило развитие платообразного рельефа, слабую выраженность структурных форм, пологость склонов и плавность сочленений. Поверхности водоразделов плоские и пологоувалистые, имеющие высоты в центральной части 950–1100 м, а по окраинам – до 1200 м. Морфология рельефа Токинской впадины сложно дифференцирована, на фоне спокойного платообразного рельефа выделяется ряд возвышенностей и котловин.

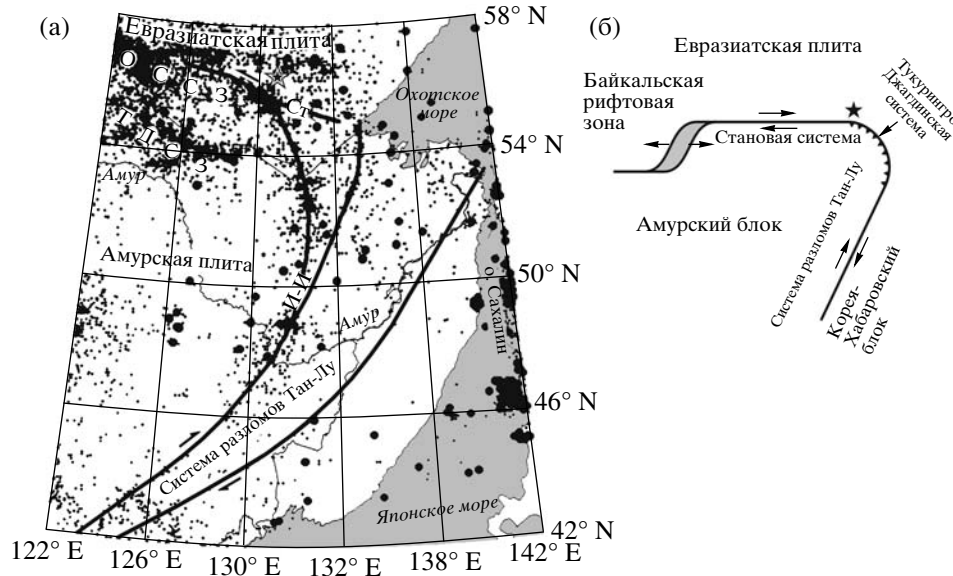
На юге Токинской впадины, к юго-западу от устья р. Туксани среди мезозойских отложений отмечен выход архейских пород [Имаев и др., 2000]. Морфологически, эта возвышенность (массив Беранджа) представляет собой группу островерхих

гольцов с отметками до 1551 м, расположенных в пределах почти правильного семиугольника диаметром около 16 км. По склонам гольцов широко развиты осыпи. Река Алгама антецендентно пересекает названную возвышенность в северо-восточном направлении, разделяя ее на две приблизительно равные части. Повсеместно на левом борту р. Алгамы отмечаются на склонах следы сейсмогравитационных проявлений. Рассмотренные материалы позволяют предположить, что морфологическая выраженность Токинской впадины сохранена лишь за счет отставания в темпе неотектонических движений от окружающих ее поднятий.

## ГЕОДИНАМИКА

Проявления сейсмичности, происходящие на восточном фланге Олекмо-Становой сеймотектонической зоны, отражают кинематический тип направленности, развития разломно-блоковых структур юго-востока Алдано-Станового блока (рис. 3). Рассматриваемая зона находится в зоне динамического влияния восточного сегмента границы континентальных Евразийской и Амурской литосферных плит и испытывает активное воздействие Тихоокеанской субдукции [Мальшев, 2006; Мирошникенко, 2008]. Указанный факт находит отражение в развитии системы активных разрывных нарушений (сдвигов, взбросов и надвигов), утолщении земной коры и возникновении крупных горных сооружений, представляющих значительную область сжатия земной коры под влиянием сжатия (Токинский Становик). Кроме того, сеймотектоническая зона тяготеет к Становому краевому шву – границе Алданского щита Сибирской платформы с Джугджуро-Становой складчатой областью, отдельные сегменты которого (Авгенкуро-Майский и Атугей-Нуямский разломы) приспособились к формированию общей геодинамической композиции. Процессы торошения, раздробления окраин крупных континентальных плит, следы которых фиксируются в пределах Олекмо-Становой сейсмической зоны, не являются автономными и существенно зависят от направления движения плит и блоков, а также их скоростей.

В нашем случае, сближение под косым углом мало подвижной (около 0.2 см/год) Евразийской плиты и относительно мобильной (более 1 см/год) Амурской, возрастание скорости которой связано, в том числе и с процессами Тихоокеанской субдукции, сформировало систему активных протяженных разломов Тан-Лу, которые протягиваются параллельно обрамлению Японского и Охотского морей [Huang, 1996; Fujita, 2004]. Эти динамические процессы способствовали образованию на востоке Алдано-Станового блока (район Токинского Становика) двух крупных сопряженных сдвиговых систем – Тыркандинского и Итун-Иланского, простирающихся в северо-западном направлении, как единая динамопара



**Рис. 3.** Структура эпицентральных полей землетрясений Южной Якутии и Приамурья по [Maskey, 2003] с дополнениями авторов (А) и принципиальная схема взаимодействия структур развитых в зоне влияния Евразийской и Амурской литосферных плит (Б).

Точками разных диаметров показаны эпицентры землетрясений с энергетическим классом  $K$  в интервале 8–11 и 12–17. Разломы: Ст – Становой, И-И – Итун-Иланский. Сейсмогенные зоны: ОССЗ – Олекмо-Становая сейсмотектоническая зона, ТДСЗ – Турунгра-Джагдинская сейсмотектоническая зона. Район пересечения разломов Станового и Итун-Иланского соответствует сгущению эпицентров землетрясений Токинского Становика.

[Maskey, 2003]. При пересечении их системой субширотных разломов, входящих в систему Станового краевого шва, они сформировали особый класс структур – ряд дуплексов сжатия, являющихся главными сейсмогенерирующими структурами. Ранее заложившиеся структуры мезозойского передового предгорного прогиба, фрагменты которого в виде Токинской впадины и целого ряда более дробных депрессий (Итымджинская, Атугей-Нуямская впадины и др.), сохранились в настоящее время среди неотектонических поднятий, сложенных кристаллическими породами в виде отдельных приразломных впадин. В современное время они затронуты процессами инверсии и ограничены системами встречных надвигов и взбросов противоположной вергентности: разломы южного ограничения впадины падают на юг, а разломы северного – соответственно на северо-восток.

Такое взаимоотношение между разломами двух генеральных направлений: широтного – характерного для шовной границы между Алданским щитом и Джугджуро-Становой областью (Атугей-Нуямский и Авгенкуро-Майский левые сдвиги) и диагонального (Тыркандинский и Итун-Иланский правые сдвиги) отражает проникновение действующих тектонических напряжений (посредством активизации этих сдвиговых разломов) глубоко в “тело” Алданского щита из расположенных южнее районов северной окраины Амурской плиты на который рас-

пространяется влияние Северо-Китайского блока [Qidong, 1984].

Данная работа выполнена при частичной поддержке проектов РФФИ (№ 07-05-00760-а).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмотектоника Якутии. М.: ГЕОС. 2000. 227 с.
- Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Николаев В.В., Семенов Р.М. Буферные сейсмогенные структуры между Евразийской и Амурской литосферными плитами на юге Сибири // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. №6. С. 55–61.
- Имаева Л.П. Соотношение новейших структур и сейсмичности Токинского Становика. Геология и полезные ископаемые. Якутск. 1980. С. 7–10.
- Мальшев Ю.Ф., Романовский Н.П., Подгорный Б.Я., Каплун В.Б., Горнов П.Ю. Глубинное строение структур ограничения литосферных плит Восточной Азии. Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии. V Косыгинские чтения. Материалы конференции, 24–27 января 2006 г. Хабаровск. 2006. С. 97–101.
- Мирошниченко А.И., Сорокин А.П., Саньков В.А., Лухнев А.В., Ашурков С.В., Сорокина Т.А., Панфилов Н.И., Серов М.А. Космическая геодезия в задачах геодинамики: современные движения в Зейско-Буринском бассейне // Тихоокеанская геология. 2008. Т. 27. № 1. С. 71–79.

- Мокшанцев К.Б., Горништейн Д.К., Гусев Г.С. и др.* Тектоника Якутии. Новосибирск: Наука. 1975. 198 с.
- Николаев В.В., Семенов Р.М., Семенова В.Г., Солоненко В.П.* Сейсмотектоника, вулканы и сейсмическое районирование хребта Станового. Новосибирск: Наука. 1982. 150 с.
- Разломная тектоника территории Якутской АССР. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР. 1976. 173 с.
- Суворов В.Д., Корнилова З.А.* Глубинное строение Алданского щита по данным сейсмологии близких землетрясений // Геология и геофизика. 1985. № 2. С. 86–93.
- Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия) / Ответств. ред. Парфенов Л.М., Кузьмин М.И. М.: МАИК, Наука, Интерпериодика. 2001. 571 с.
- Fujita K., Sella G.F., Mackey K.G., Parks K.S., Imaev V.S., Hindle D.* Relationships between Seismicity and GPS Determined Velocities in Northeast Asia. AGU Meeting. 2004. Abstracts. San-Francisko. 271 p.
- Huang W., Gao W., Ding G.*, Neogene volcanism and Holocene earthquakes in the Tanlu fault zone, eastern China // Tectonophysics. 1996. V. 260. P. 259–270.
- Mackey K.G., Fujita K., Gumbina L., Koz'min B., Imaev V., Imaeva L., Sedov B.* Explosion contamination of the northeast Siberian seismicity catalog: implications for natural earthquake distributions and the location of the Tanlu fault in Russia // Bulletin of the Seismological Society of America. 2003. V. 93. P. 737–746.
- Qidong D., Peizhen Z.* Research on the geometry of shear fractures zones // Journ. Geophys. Res. 1984. V. 89. № 137. P. 5699–5710.